

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 34 918.5

Anmeldetag: 31. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Optisches Übertragungssystem zur Übertragung
von optischen Signalen mit unterschiedlichen
Übertragungsraten

IPC: H 04 B 10/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Ebert

BEST AVAILABLE COPY



Beschreibung

Optisches Übertragungssystem zur Übertragung von optischen Signalen mit unterschiedlichen Übertragungsraten

5

Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem zur Übertragung von optischen Signalen bestehend aus N optischen Faserstreckenabschnitten mit jeweils einer optischen Faser und einer Dispersionskompensationseinheit, bei dem zur Übertragung von eine erste Datenübertragungsrate aufweisenden ersten optischen Signalen die Kompensationsbeträge der ersten bis N-ten Dispersionskompensationseinheiten derart dimensioniert sind, daß der erste bis N-te Faserstreckenabschnitt jeweils um annähernd denselben Unterkompensationsbetrag unter-

15 kompensiert ist.

In optischen Übertragungssystemen mit hohen Datenübertragungsraten, wie beispielsweise bei den nach dem WDM-Prinzip (Wavelength Division Multiplexing) arbeitenden optischen Übertragungssystemen, werden durch die bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Fasern auftretende chromatische Faserdispersion und weiteren nichtlinearen Effekten wie der Selbstmodulation (SPM) oder der Kreuzphasenmodulation (EXPM) Verzerrungen in den zu übertragenden, optischen Signalen hervorgerufen. Derartige Verzerrungen der zu übertragenden, optischen Signale sind unter anderem abhängig von der optischen Eingangsleistung des optischen Signals, der Datenübertragungsrate und von dem zur Übertragung verwendeten Fasertyp. Die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungs-

20 reichweite eines optischen Übertragungssystem wird durch die aufgrund der chromatischen Faserdispersion und der nichtlinearen Effekte hervorgerufenen Verzerrungen beschränkt. Hierbei ist unter der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite die optische Übertragungsstrecke zu verstehen, über

30

35

über die ein optisches Datensignal übertragen werden kann, oh-

ne daß eine Regeneration bzw. "3R-Regeneration" (Elektronische Datenregeneration hinsichtlich der Amplitude, Flanke und des Taktes eines optisch übermittelten, digitalen Datensignals durchgeführt werden muß. Die regenerationsfrei über-
5 brückbare Übertragungsreichweite wird somit durch das für die Rekonstruktion der Daten des optischen Signals am Ende eines optischen Faserstreckenabschnitts erforderliche Signal-zu-Rausch-Verhältnis bestimmt.

10 Um derartige Verzerrungen des optischen Datensignals zu kompensieren, werden bei der Übertragung von optischen Signalen beispielsweise über optische Standard-Einmodenfasern geeignete Dispersionskompensationseinheiten vorgesehen bzw. ein an die optische Übertragungsstrecke angepaßtes Dispersionsmanagement betrieben. Unter den Begriff Dispersionsmanagement ist
15 hierbei eine gezielte Anordnung von Dispersionskompensationseinheiten entlang der optischen Übertragungsstrecke beispielsweise an optischen Sendern, an optischen Zwischenverstärkern und/oder an optischen Empfängern sowie die Ermittlung der geeigneten Dispersionskompensationsbeträge der Dispersionskompensationseinheiten zu verstehen.
20

Optische Übertragungssysteme setzen sich aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten zusammen, in denen die jeweils
25 in den betrachteten optischen Faserstreckenabschnitten hervorgerufenen Faserdispersion mit Hilfe mindestens einer Dispersionskompensationseinheit nahezu vollständig kompensiert wird oder teilweise um einen bestimmten Betrag über- oder unterkompensiert wird.

30

Derartige Dispersionskompensationseinheiten sind beispielsweise als optische Spezialfasern ausgestaltet, bei denen durch eine spezielle Wahl des Brechzahlindexprofils im Faserkern und in den umliegenden Mantelschichten der optischen Fasern die Dispersion bzw. die Faserdispersion, insbesondere im
35

Übertragungswellenlängenbereich sehr hohe negative Werte annimmt. Mit Hilfe der durch die dispersionskompensierende Faser hervorgerufenen hohen negativen Dispersionswerte können die durch die optischen Übertragungsfasern, beispielsweise
5 eine Standard-Einmodenfaser, hervorgerufenen Dispersionsbeiträge effektiv kompensiert werden. Aus der für die Rekonstruktion des optischen Signals am Ende des optischen Faserstreckenabschnitts erforderlichen Mindest-Augenöffnung des Augendiagramms („Eye-Opening“) bzw. des hierzu erforderlichen
10 Signals-zu-Rausch-Verhältnisses ergibt sich eine maximale, regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite bzw. eine maximale Anzahl N von optischen Faserstreckenabschnitten.

15 In bislang realisierten optischen Übertragungssystemen werden hierzu unterschiedliche Dispersionsmanagementschemata verfolgt, wobei die optimale Dispersionskompensation einer optischen Übertragungsstrecke durch die Verwendung von vor- und/oder nachkompensierten bzw. unterschiedlich über- oder
20 unterkompensierten optischen Faserstreckenabschnitten durchgeführt werden kann. Abhängig von der jeweiligen zu übertragenden Datenrate, dem Datenformat sowie den Fasereigenschaften wird somit eine Überbrückung einer räumlich definierten Entfernung mit einer festgelegten Anzahl von Faserstreckenabschnitten möglich.

Hierzu ist aus der deutschen Offenlegungsschrift 19945143 ein Dispersionsmanagementschema für ein optische Übertragungssystem bekannt, bei dem optische Signale mit Datenraten um die
30 10 Gbit/s über eine festgelegte Anzahl von optischen Faserstreckenabschnitten übertragen werden. Zur Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite des optischen Übertragungssystems werden die Kompensationsbeträge der Dispersionskompensationseinheiten am Ende jedes optischen
35 Faserstreckenabschnitts derart dimensioniert, daß die

verbleibende akkumulierte Restdispersion pro optischen Faserstreckenabschnitt zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt, d.h. die für das gesamte optische Übertragungssystem berechnete oder geschätzte akkumulierte Restdispersion wird nahezu gleichmäßig auf die optischen Faserstreckenabschnitte verteilt und hierdurch wird jeder optische Faserstreckenabschnitt um nahezu denselben Kompensationsbetrag unterkompensiert.

10 Ferner ist aus der deutschen Patentanmeldung 10127345 ein Dispersionsmanagementschema für ein optisches Übertragungssystem bekannt, bei dem optische Signale mit erhöhten Datenraten von mehr als 40 Gbit/s über eine festgelegte Anzahl von optischen Faserstreckenabschnitten übertragen werden. Hierbei
15 werden zur Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite die Kompensationsbeträge der Dispersionskompensationseinheiten am Ende jedes optischen Faserstreckenabschnitts derart dimensioniert, daß der erste bis N-te Faserstreckenabschnitt um jeweils annähernd denselben Überkompensationsbetrag überkompensiert ist. Zusätzlich ist der
20 Überkompensationsbetrag der N-ten Dispersionskompensationseinheit derart dimensioniert, daß die akkumulierte Faserdispersion am Ausgang des optischen Übertragungssystem nahezu vollständig kompensiert wird.

25 Bei einer Übertragung von optischen Signalen mit zwei unterschiedlich Datenübertragungsraten, beispielsweise von 10 Gbit/s- und 40 Gbit/s-Signalen, in jeweils einem WDM-Übertragungskanal über ein für die Übertragung einer ersten niederbitratigen Datenübertragungsrate optimiertes optisches Übertragungssystem werden die eine zweite höherbitratige Datenübertragungsrate aufweisenden optischen Signale derart
30 stark verzerrt, daß eine Rekonstruktion dieser optischen Datensignale am Streckenende nicht mehr möglich ist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, ein optisches Übertragungssystem zur hochbitratigen Übertragung von optischen Signalen anzugeben, dessen Dispersionskompensationseinheiten derart dimensioniert sind, daß die Übertragung von mindestens zwei unterschiedliche Datenübertragungsraten aufweisenden optischen Signalen möglich ist. Die Aufgabe wird ausgehend von dem im Oberbegriff von Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

10 Der wesentliche Aspekt der Erfindung ist darin zu sehen, daß zur Übertragung von eine zweite Datenübertragungsrate aufweisenden zweiten optischen Signalen dem ersten Faserstreckenabschnitt eine Vorkompensationseinheit zur Vorkompensation der
15 zweiten optischen Signale vorgeschaltet ist, die einen Vorkompensationsbetrag im Bereich von 0 ps/nm bis -2000 ps/nm aufweist. Hierdurch können über ein bereits bestehendes optisches Übertragungssystem, welches für die Übertragung von eine erste optische Übertragungsrate - beispielsweise 10 Gbit/s
20 - aufweisenden ersten optischen Signalen dispersionsoptimiert ist, weitere, eine zweite Datenübertragungsrate - beispielsweise 40 Gbit/s - aufweisende zweite optische Signale übertragen werden. Ohne das erfindungsgemäße Vorkompensationsbetragsintervall von 0 ps/nm bis -2000 ps/nm tritt bei der Übertragung aufgrund des nichtlinearen Effektes der Selbstphasenmodulation eine Verzerrung des optischen 40 Gbit/s-Signales auf, was zu einer erheblichen Verringerung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite führt. Durch die erfindungsgemäße Vorkompensation wird diese Verzerrung
30 deutlich reduziert, so daß das optische Übertragungssystem sowohl bei der Übertragung von 10 Gbit/s-Signalen als auch bei der Übertragung von 40 Gbit/s-Signalen für die jeweilige Übertragungsrate nahezu die Übertragungseigenschaften aufweist, die einem für die jeweilige Übertragungsrate dispersionsoptimiertem Übertragungssystem entsprechen.
35

Ein weiter vorteilhafter Aspekt der Erfindung ist darin zu sehen, daß das optische Übertragungssystem einen von der Höhe der eingekoppelten Leistung des eine zweite Datenübertra-

5 gungsrate aufweisenden zweiten optischen Signal und dem zur Übertragung verwendeten Fasertyp abhängigen Vorkompensationsbetrag aufweist, wobei die optische Faser als Standard-Einmodenfaser oder als Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser realisiert ist.

10 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die zweite Datenübertragungsrate im Vergleich zur ersten Datenübertragungsrate mindestens doppelt so hoch. Hierbei sind erfindungsgemäß für unterschiedliche Fasertypen unterschiedliche Vorkompensationsbeträge vorteilhaft. Beispielsweise für

15 eine Standard-Einmodenfaser ist der Vorkompensationsbetrag für ein optisches Signal mit einer Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s und einem Non-Return-To-Zero-Datenformat näherungsweise durch die folgende Beziehung bestimmt:

$$D_{PC} = (-11 + 1,665 \cdot P_{\text{launch}} / [\text{dBm}]) \cdot D_{\text{inline}} - 270 \text{ [ps/nm]}$$

mit

P_{launch} = eingekoppelte Leistung des die zweite Datenübertragungsrate aufweisenden optischen

25 Signals pro Faserstreckenabschnitt und

D_{inline} = durchschnittlicher Unterkompensationsbetrag der ersten bis N-ten Dispersionskompensations-einheiten.

30 Dagegen ergibt sich für den Einsatz einer Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser (NZDSF) für ein optisches Signal mit einer Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s und einem Non-Return-To-Zero-Datenformat näherungsweise der folgende Zusammenhang:

$$D_{PC} = (-12,5 + 1,2 \cdot P_{\text{launch}} / [\text{dBm}]) \cdot D_{\text{inline}} - 25 \text{ [ps/nm]}$$

ebenfalls mit

P_{launch} = eingekoppelte Leistung des die zweite
Datenübertragungsrate aufweisenden optischen
Signals pro Faserstreckenabschnitt und
 D_{inline} = durchschnittlicher Unterkompensationsbetrag
der ersten bis N-ten Dispersionskompensations-
einheiten.

Vorteilhaft werden durch diese Beziehungen näherungsweise optimierte Vorkompensationswerte für den jeweiligen Fasertyp im erfindungsgemäßen Bereich von 0 ps/nm bis -2000 ps/nm ermittelt, wodurch die durch die nichtlinearen Effekt der Selbstphasenmodulation und die Faserdispersion hervorgerufenen Verzerrungen innerhalb des optischen Übertragungssystems bei der Übertragung des eine zweite, mindestens doppelt so hoch wie die erste Übertragungsrate aufweisenden optischen Signals - beispielsweise eine Übertragungsbitrate von 40 Gbit/s aufweisende optische Signale - deutlich reduziert werden.

Vorteilhaft weisen alle optischen Faserstreckenabschnitte des optischen Übertragungssystems eine Länge zwischen 40 km und 120 km auf.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausbildungen des erfindungsgemäßen optischen Übertragungssystems sind in den weiteren Patentansprüchen beschrieben.

Die Erfindung soll im folgenden anhand eines Prinzipschaltbildes und mehreren Diagrammen näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines optischen Übertragungssystems,

Figur 2 zeigt in einem Diagramm das erfindungsgemäße Dispersionmanagementschema für die eine zweite Datenübertragungsrate aufweisenden zweiten optischen Signalen,

Figur 3 zeigt in einem Diagramm die Verbesserung der Übertragungseigenschaften des optischen Übertragungssystems durch die erfindungsgemäße Vorkompensation für eine zweite Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s über eine Standard-Einmodenfaser,

Figur 4 zeigt in einem Diagramm Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Anzahl der Faserstreckenabschnitte durch die erfindungsgemäße Vorkompensation für eine zweite Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s über eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser,

Figur 5 zeigt in einem Diagramm die unterschiedlichen Vorkompensationsbeträge in Abhängigkeit von der Eingangssignalleistung und des Unterkompensationsbetrages für eine zweite Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s über eine Standard-Einmodenfaser und

Figur 6 zeigt in einem Diagramm die unterschiedlichen Vorkompensationsbeträge in Abhängigkeit von der Eingangssignalleistung und des Unterkompensationsbetrages für eine zweite Datenübertragungsrate von 40 Gbit/s über eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser.

In Figur 1 ist ein optisches Übertragungssystem OTS schematisch dargestellt, das eine optische Sendeeinrichtung TU und eine optische Empfangseinrichtung RU aufweist. Die optische Sendeeinrichtung TU ist über eine optische Vorkompensationseinheit PCU sowie über N optische, jeweils einen Eingang I und einen Ausgang E aufweisende Faserstreckenabschnitte FDS_1 bis FDS_N mit der optischen Empfangseinrichtung RU verbunden. Ein Faserstreckenabschnitt FDS weist jeweils einen optischen Verstärker EDFA, eine optische Faser SSMF und eine optische Dispersionskompensationseinheit DCU auf. Unter der optischen Faser SSMF ist eine „Single Mode Fiber“ zu verstehen, die beispielweise sowohl als Standard-Einmodenfaser SSMF als auch die Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF realisiert sein kann.

In Figur 1 sind beispielhaft ein erster und N-ter optischer Faserstreckenabschnitt FDS_1, FDS_N dargestellt, wobei ein zweiter bis N-1-ter Faserstreckenabschnitt FDS_2 bis FDS_{N-1} anhand einer punktierten Linie angedeutet sind. Desweiteren besteht
5 der erste optische Faserstreckenabschnitt FDS_1 aus einem ersten optischen Verstärker $EDFA_1$, einer ersten optischen Faser $SSMF_1$, beispielsweise einer optischen Standard-Single-Mode-Faser, sowie aus einer ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU_1 , wobei zwischen der ersten optischen Faser
10 $SSMF_1$ und der ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU_1 noch weitere optische Vorverstärker - in Figur 1 nicht dargestellt - vorgesehen werden können. Analog dazu weist der N-te optische Faserstreckenabschnitt FDS_N einen N-ten optischen Verstärker $EDFA_N$, eine N-te optische Faser
15 $SSMF_N$ und eine N-te optische Dispersionskompensationseinheit DCU_N auf. Analog können zwischen N-ter optische Faser $SSMF_N$ und N-ter optischer Dispersionskompensationseinheit DCU_N weitere optische Vorverstärker - in Figur 1 nicht dargestellt - vorgesehen sein. Für die N-te Dispersionskompensationseinheit
20 DCU_N ist zusätzlich die Möglichkeit vorgesehen, jedes der optischen Signale $OS1, OS2$ getrennt zu kompensieren.

Mit Hilfe der dem ersten optischen Faserstreckenabschnitt FDS_1 vorgeschalteten Vorkompensationseinheit PCU werden ausgewählte optische Datensignale OS einer Vorkompensation mit unterschiedlichen Vorkompensationsbeträgen D_{PC} unterzogen.

Die optischen Datensignale OS werden von der optischen Sendeeinrichtung TU zur Vorkompensationseinheit PCU übermittelt,
30 wobei die optischen Datensignale OS unterschiedliche Datenübertragungsraten $DR1, DR2$ aufweisen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden beispielhaft erste optische Datensignale $OS1$ mit einer ersten optischen Datenübertragungsrate $DR1$ sowie zweite optische Datensignale $OS2$ mit einer zweiten optischen
35 Datenübertragungsrate $DR2$ übertragen, wobei die zweite Datenübertragungsrate $DR2$ beispielsweise mindestens doppelt so hoch ist wie die erste optische Datenübertragungsrate $DR1$.

- Mit Hilfe der Vorkompensationseinheit PCU werden beispielhaft die zweiten optischen Datensignale OS2 einer Vorkompensation unterzogen, wohingegen die ersten optischen Datensignale OS1 durch die Vorkompensationseinheit PCU „geschleift“ werden können. Alternativ können die ersten optischen Datensignale OS1 direkt von der optischen Sendeeinheit TU zum Eingang I des ersten Faserstreckenabschnitts FDS₁ übertragen werden oder ebenfalls der Vorkompensation unterzogen werden.
- 10 Die am Ausgang der Vorkompensationseinheit PCU abgegeben optischen Signale OS werden zum Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitts FDS₁ übermittelt. Hierbei werden die optischen Signale OS gemultiplext in einem WDM-Signal übertragen werden. Innerhalb des ersten optischen Faserstrecken-
- 15 abschnitts FDS₁ werden die optischen Datensignale OS, d.h. die ersten und zweiten optischen Datensignale OS1, OS2, mit Hilfe des ersten optischen Verstärker EDFA₁ verstärkt und über die erste optische Faser SSMF₁ zur ersten Dispersionskompensationseinheit DCU₁ übertragen. In der ersten Dispersions-
- 20 kompensationseinheit DCU₁ werden die durch die optische Übertragung über die erste optische Faser SSMF₁ hervorgerufenen Signalverzerrungen der optischen Datensignale OS bis auf eine erste Rest-Dispersion D_{in1line1} , die in etwa dem Unterkompensationsbetrag D_{in1line} entspricht, kompensiert.
- 25 Die akkumulierte Restdispersion D_{akk} wird durch die Faserdispersion hervorgerufen und liegt am Ende des N-ten Faserstreckenabschnitts FDS_N vor. Hierbei wird die akkumulierte Restdispersion D_{akk} aus Gründen der für die Rückgewinnung der Daten aus den optischen Datensignalen OS geforderten Augendia-
- 30 grammöffnung („Eye-Opening“) am Ende des N-ten Faserstreckenabschnitts FDS_N teilweise nicht kompensiert. Der für eine optimale Augenöffnung erforderliche Betrag der Restdispersion D_{akk} wird durch die nichtlinearen Effekte der optischen Faser
- 35 SSMF bestimmt und hängt von der Datenübertragungsrate DR1, DR2, dem Datenformat und der mittleren Übertragungsleistung am Anfang eines Faserstreckenabschnitts FDS ab. Dieser

Betrag kann in bestimmten Fällen auch Null sein - siehe DE 10127345. Daher ist es beispielsweise in einigen Anwendungsfällen vorteilhaft die zu übertragenden optischen Signale OS1, OS2 bereits vor der N-ten Dispersionskompensationseinheit FDS_N zu demultiplexen und die getrennten optischen Signale OS1, OS2 gemäß der für die Übertragung verwendeten Datenübertragungsrate DR1, DR2 unterschiedliche Diserpsionsbeträge aufweisenden N-ten Dispersionkompensationseinheiten DCU_N zuzuführen. In anderen Worten: um eine optimale Augendiagrammöffnung zu erhalten ist es vorteilhaft, daß die ersten und zweiten optischen Signale OS1, OS2 am Ende des optischen Übertragungssystem OTS unterschiedlich optimierte Restdispersionen D_{akk} aufweisen. Somit sind die am Ausgang E des N-ten optischen Faserstreckenabschnitts FDS_N anliegenden optischen Signale OS nicht vollständig dispersionskompensiert, sondern weisen eine von Ihrer Datenübertragungsrate DR1, DR2 abhängige verbleibende Restdispersion auf.

Analog dazu werden die optischen Signale OS über die weiteren optischen Faserstreckenabschnitte FDS zum Eingang I des N-ten optischen Faserstreckenabschnittes FDS_N übertragen. Hierbei steigt die verbleibende Restdispersion der ersten optischen Signale OS1 pro Faserstreckenabschnitt FDS nahezu gleichmäßig um den vorgegebenen Unterkompensationsbetrag D_{inline} an und etnspricht nach dem N-ten Faserstreckenabschnitt FDS_N der akkumulierten Restdispersion D_{akk}. Die verbleibende Restdispersion der zweiten optischen Signale OS2 weist jedoch am Ende des optischen Übertragungssystems OTS eine unterschiedliche akkumulierte Restdispersion D_{akk} auf.

Die am Ausgang E des N-ten optischen Faserstreckenabschnitts FDS_N abgegebenen optischen Signale OS werden zur optischen Empfangseinrichtung RU übertragen und gegebenenfalls vor der Weiterverarbeitung einer 3R - Regeneration unterzogen - nicht in Figur 1 dargestellt.

In Figur 2 ist beispielhaft das erfindungsgemäße Dispersion-
 managementschema DCS für die zweiten optischen Signale OS2
 anhand eines Diagramms schematisch dargestellt. In dem Dia-
 gramm sind ein erster, zweiter und N-ter optischer Faserstre-
 ckenabschnitt FDS_1, FDS_2, FDS_N dargestellt, wobei der erste op-
 5 tische Faserstreckenabschnitt FDS_1 eine erste optische Faser
 $SSMF_1$ und eine erste optische Dispersionskompensationseinheit
 DCF_1 , der zweite optische Faserstreckenabschnitt FDS_2 eine
 zweite optische Faser $SSMF_2$ und eine zweite optische Disper-
 10 sionskompensationseinheit DCF_2 , der N-te optische Faserstre-
 ckenabschnitt FDS_N eine N-te optische Faser $SSMF_N$ und eine N-
 te optische Dispersionskompensationseinheit DCF_N aufweist.
 Der dritte bis (N-1)-te optische Faserstreckenabschnitt FDS_3
 bis FDS_{N-1} sind durch strichliert gezeichnete Linien angedeu-
 15 tet. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist beispiels-
 weise die Länge der ersten bis N-ten optischen Faser $SSMF_1$
 bis $SSMF_N$ sowie der ersten bis N-ten dispersionskompensieren-
 den Faser DCF_1 bis DCF_N nahezu gleich. Diese können jedoch in
 der Praxis unterschiedliche Längen im Bereich von etwa 40 km
 20 bis 120 km aufweisen. Im Falle einer größeren Variation der
 Längen der Faserstreckenabschnitte FDS kann der auf eine kon-
 stante Länge der optischen Fasern SSMF bezogene Unterkompen-
 sationsbetrag D_{inline} pro Faserstreckenabschnitt FDS wahlweise
 auch in einen relativen Unterkompensationsbetrag D_{rel_inline}
 25 umgerechnet werden. Hierfür wird ausgehend von einer optima-
 len akkumulierten Restdispersion D_{akk} nach dem N-ten Faser-
 streckenabschnitt FDS_N der jeweilige Unterkompensationsbetrag
 $D_{inlinex}$ für einen beliebigen Faserstreckenabschnitt FDS_i aus
 der Länge $L(FDS_i)$ des Faserstreckenabschnitts FDS_i und der Ge-
 30 samtstreckenlänge $L_{ges} = L(FDS_1) + L(FDS_2) + \dots + L(FDS_N)$
 durch folgende Beziehung ermittelt:

$$D_{inlinex} = (L(FDS_i) * D_{akk}) / L_{ges} ;$$

35

Das Diagramm in Figur 2 weist eine horizontale Achse x und
 eine vertikale Achse D auf, wobei an der horizontalen Achse x

die zurückgelegte Übertragungsstrecke und an der vertikalen Achse D der Betrag der Faserdispersion D im jeweiligen optischen Faserstreckenabschnitt FDS angetragen sind

- 5 Darüber hinaus zeigt Figur 2, daß die Faserdispersion D der am Eingang der Vorkompensationseinheit PCU anliegenden optischen zweiten Signale OS2 zunächst linear abnimmt und am Ausgang x_1 der Vorkompensationseinheit PCU einen negativen Vorkompensationsbetrag D_{PC} aufweist. Die Faserdispersion D der
- 10 zweiten optischen Signale OS2 steigt bei der Übertragung über die erste optische Faser SSMF₁ des ersten optischen Faserstreckenabschnitts FDS₁ vom Eingang x_1 nahezu linear zum Ausgang x_2 der ersten optischen Faser SSMF₁ an und weist am Ausgang x_2 einen ersten maximalen Dispersionsbetrag D_{max1} auf. Die
- 15 bei der Übertragung der zweiten optischen Signale OS über die erste optische Faser SSMF₁ hervorgerufene Faserdispersion $D = |D_{PC}| + D_{max1}$ wird mit Hilfe der ersten Dispersionskompensationseinheit DCF₁ teilweise kompensiert, so daß der am Ausgang x_3 der ersten Dispersionskompensationseinheit DCF₁ vorliegende
- 20 Dispersionsbetrag D sich um den ersten Restdispersionsbetrag $D_{inline1}$ von dem Vorkompensationsbetrag D_{PC} unterscheidet. Somit weist der erste optische Faserstreckenabschnitt FDS₁ eine Unterkompensation um den Unterkompensationsbetrag D_{inline} auf.
- 25 Bei der Übertragung über den zweiten optischen Faserstreckenabschnitt FDS₂ bzw. über dessen zweite optische Faser SSMF₂ nimmt die Faserdispersion D nahezu linear zu und es ergibt sich am Ausgang x_4 der zweiten optischen Faser SSMF₂ ein zweiter maximaler Dispersionsbetrag D_{max2} . Der zweite maximale
- 30 Dispersionsbetrag D_{max2} wird mit Hilfe der zweiten Dispersionskompensationseinheit DCF₂ derart unterkompensiert, daß die verbleibende zweite Restdispersion $D_{inline2}$ bezogen auf dem zweiten optischen Faserstreckenabschnitt FDS₂ wiederum annähernd dem Unterkompensationsbetrag D_{inline} entspricht.

Analog hierzu wird das erfindungsgemäße Dispersionsmanagementschema in den dritten bis N-1-ten optischen Faserstreckenabschnitten FDS_3 bis FDS_{N-1} realisiert.

5 Die in dem N-ten optischen Faserstreckenabschnitt DCF_N eingespeisten optischen Signale OS werden über die N-te optische Faser $SSMF_N$ des optischen Übertragungssystems OTS übertragen und mit Hilfe der N-ten Dispersionskompensationseinheit DCF_N kompensiert. Anhand Figur 2 wird deutlich, daß der Dispersi-
10 onbetrag D weiterhin zunimmt und am Ende der N-ten optischen Faser x_6 einen N-ten maximalen Dispersionsbetrag D_{maxN} aufweist. Mit Hilfe der vierten Dispersionskompensationseinheit DCF_4 wird der N-te maximale Dispersionsbetrag D_{maxN} auf den Betrag der akkumulierten Restdispersion D_{akk} kompensiert. Die
15 dargestellte akkumulierte Restdispersion D_{akk} betrifft die erste Datenübertragungsrate DR1 aufweisenden ersten optischen Signale OS1. Der optimale Restdispersionsbetrag D_{akk} der zweiten optischen Signale OS2 kann hierzu unterschiedlich sein - wie oben beschrieben. Um eine hinsichtlich der zweiten opti-
20 schen Signale OS2 optimale akkumulierte Restdispersion D_{akk} zu erhalten, kann eine separate Dispersionskompensation der zweiten optischen Signale OS2 zur Erzeugung eines optimalen Augendiagrammes am Ausgang E des optischen Übertragungssystems OTS erforderlich sein kann (in Figur 2 nicht darge-
25 stellt).

Durch die Vorkompensation der zweiten optischen Signale OS2 und die nahezu gleichmäßige verteilte Unterkompensation innerhalb der Faserstreckenabschnitte FDS wird die regenerati-
30 onsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite x_7 wesentlich erhöht, so daß nahezu dieselbe Übertragungsreichweite erreicht wird.

Der in Figur 2 erkennbare, symmetrische Aufbau des Netzmanagementschemas DCS ermöglicht zusätzlich eine bidirektionale Datenübertragung über die betrachteten Faserstreckenabschnitte FDS, wobei hierfür die Vorkompensationseinheit PCU und ein

eventuell vorgesehene separate Nachkompensation der zweiten optischen Signale OS2 getrennt betrachtet wird.

Zusätzlich kann ein eine optische Faser SSMF und eine Dispersionskompensationseinheit DCF aufweisender Faserstreckenabschnitt FDS als optisches Übertragungsmodul ausgestaltet sein. Das optische Übertragungssystem OTS wird dann durch eine Serienschaltung derartiger optischer Übertragungsmodule gebildet.

In Figur 3 wird in einem Diagramm die Verbesserung des Übertragungsverhaltens des optischen Übertragungssystems OTS durch die Vorkompensation der zweiten optischen Signale OS2 dargestellt.

Im Diagramm sind an der horizontalen Achse der ausgewählte Unterkompensationsbetrag D_{inline} und an der vertikalen Achse die maximale Leistung P_{max} der übertragenen zweiten optischen Signale OS2 angetragen. Die maximale Leistung P_{max} ist die Leistung, die in ein nur einen optischen Faserstreckenabschnitt FDS aufweisenden optisches Übertragungssystem OTS maximal eingekoppelt werden kann, so daß das übertragene optische Signal OS am Ende des einzigen Faserstreckenabschnitts FDS eine derartig geringe Verzerrung aufweist, daß das optische Signal OS vollständig rekonstruiert werden kann. Die Anzahl N der Faserstreckenabschnitte FDS, die mit einem optischen Übertragungssystem OTS mit einer bestimmten maximalen Leistung P_{max} überbrückt werden kann, errechnet sich wie folgt:

$$P_{max} = 10 \cdot \log(N) + P_{launch}$$

mit

P_{launch} = eingekoppelt Leistung pro Faserstreckenabschnitt FDS.

In Figur 3 und in den folgenden Figuren 4 bis 6 werden Leistungswerte in dBm angegeben, eine zehnerlogarithmische Skala

bezogen auf die Leistung von 1mW. Hierfür gilt folgende Umrechnungsbeziehung:

$$\text{Signalleistung[in dBm]} = 10 \cdot \log(\text{Signalleistung[in mW]})$$

5

Somit entspricht 1dBm einer Leistung von ungefähr 1,258 mW bzw. umgekehrt 1mW ungefähr 0 dBm.

10

Im betrachteten Ausführungsbeispiel werden über ein für die Übertragung von ersten optischen Signalen OS1 dispersionoptimiertes optisches Übertragungssystem OTS1 zweite optische Signale OS2 übertragen. Die optischen Fasern SSMF weisen eine durchschnittliche Faserdispersion von 17 ps/(nm*km) auf.

15

Hierbei weist ein optischer Faserstreckenabschnitt FDS beispielsweise eine Länge von ca. 100 km auf. Beträgt nun der Unterkompensationsbetrag D_{inline} pro optischen Faserstreckenabschnitt FDS annähernd beispielsweise 51 ps/nm so ergibt sich eine Verbesserung der maximalen Leistung P_{max} des zweiten optischen Signals OS2 von ungefähr 5 dBm gegenüber der Übertragung ohne Vorkompensation der zweiten optischen Signale OS2.

20

Hierdurch wird die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite wesentlich erhöht. Somit können sowohl erste optische Signale OS1 mit einer ersten optischen Übertragungsrate von beispielsweise 10 Gbit/s und zweite optische Signale

25

OS2 mit einer zweiten Übertragungsrate von beispielsweise 40 Gbit/s über ein optisches Übertragungssystem OTS nahezu über die der Datenübertragungsrate DR2 entsprechenden maximalen Entfernung übertragen werden.

30

Zusätzlich ist aus Figur 3 ersichtlich, welches Dispersionsmanagementschema ohne erfindungsgemäße Vorkompensation eingesetzt werden müßte, um eine maximale Reichweite des optischen Übertragungssystems OTS bei der Übertragung der zweiten optischen Signale OS2 zu erreichen. So ist eine Restdispersion

35

pro Faserstreckenabschnitt von etwa 34 ps/nm erforderlich, um eine maximale Leistung P_{max} von 13,1 dBm zu erreichen.

Bei der Übertragung von höherbitratigen zweiten optischen Signalen OS2 über ein für niederbitratige optische Signale OS1 dispersionsoptimiertes optisches Übertragungssystem OTS wird die optische Systemreichweite verringert, so daß sich

5 das vorgestellte Übertragungssystem insbesondere auch für den Anwendungsfall eignet, bei dem mehrere beispielsweise 40 Gbit/s-Signale über eine oder mehrere optische Teil-Übertragungsstrecken eines für beispielsweise 10 Gbit/s dispersions-

10 optimiertes Übertragungssystem OTS übertragen werden.

In einem weiteren Diagramm - Figur 4 - wird die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl N der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS in Abhängigkeit von dem Unterkompensationsbetrages D_{inline} pro Faserstreckenabschnitt FDS für optische

15 Signale OS mit einer Eingangssignalleistung P_{launch} von 1dBm bei der Übertragung über eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF dargestellt. An der horizontalen Achse ist die Rest-Dispersion D_{inline} pro Faserstreckenabschnitt FDS des optischen Übertragungssystems OTS und an der vertikalen Achse

20 die Anzahl N der optischen Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS angetragen.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß durch die erfindungsgemäße Vorkompensation sich eine Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite erzielen läßt. Die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite wird in

25 Figur 4 durch die Anzahl N der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS verdeutlicht. Beispielsweise wird bei einer gleichmäßigen Unterkompensation um einen Unterkompensationsbetrag D_{inline} von 7 ps/nm pro Faserstreckenabschnitt FDS und unter Einsatz der erfindungsgemäßen Vorkompensationseinheit PCU mehr als eine Verdopplung der Übertragungsreichweite von 12 auf 27 Faserstreckenabschnitte FDS erreicht. Somit können bei gleicher Ein-

30 gangsleistung P_{launch} der zweiten optischen Signale OS2 diese durch die erfindungsgemäße Vorkompensation über weitere 15 Faserstreckenabschnitte FDS übertragen werden.

35

In den Figuren 5 und 6 wird jeweils in einem Diagramm die Beziehung zwischen dem Unterkompensationsbetrag D_{inline} , der Eingangsleistung P_{launch} der zweiten optischen Signale OS2 und des sich hieraus ergebenden optimalen Vorkompensationsbetrages D_{PC} für die Standard-Einmodenfaser SSMF (Figur 5) und die Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF (Figur 6) dargestellt. Hierzu wird an der horizontalen Achse der gewählte Unterkompensationsbetrag D_{inline} angetragen und an der vertikalen Achse der Vorkompensationsbetrag D_{PC} aufgeführt. Ferner sind jeweils drei Graphen für unterschiedliche Eingangsleistungen P_{launch} beispielhaft dargestellt. Die im Ausführungsbeispiel verwendete zweite Datenübertragungsrate DR2 beträgt 40 Gbit/s unter Verwendung des Non-Return-To-Zero-Datenformats.

In Figur 5 wird ein erster Graph durch rautenförmige Meßpunkte dargestellt, der den Zusammenhang zwischen dem Unterkompensationsbetrag D_{inline} und dem Vorkompensationsbetrag D_{PC} für eine Eingangsleistung P_{launch} von -1 dBm anzeigt. Der Verlauf für eine Eingangsleistung P_{launch} von 1 dBm wird durch einen quadratförmige Meßpunkte aufweisenden zweiten Graphen dargestellt und der Verlauf für eine Eingangsleistung P_{launch} von +4 dBm wird durch eine kreisförmige Meßpunkte aufweisenden dritten Graphen angezeigt. Ferner ergibt sich durch Interpolation der Meßpunkte folgende mathematische Beziehung zur Ermittlung des optimalen Vorkompensationsbetrages D_{PC} ausgehend von dem verwendeten Unterkompensationsbetrages D_{inline} und der Eingangsleistung P_{launch} der zweiten optischen Signale OS2 für die Standard-Einmodenfaser:

$$D_{\text{PC}} = (-11 + 1,665 \cdot P_{\text{launch}} / [\text{dBm}]) \cdot D_{\text{inline}} - 270 \text{ [ps/nm]}$$

Mit Hilfe dieser Beziehung wird auf einfache Art und Weise der Vorkompensationsbetrag D_{PC} für einen festgelegten Unterkompensationsbetrag D_{inline} und eine festgelegte Eingangssignalleistung P_{launch} pro optischen Faserstreckenabschnitt FDS ermittelt. Hierdurch wird die für die Übertragung eines eine

zweite Datenübertragungsrate DR2 aufweisenden zweiten optischen Signals OS2 über ein für eine erste Datenübertragungsrate DR1 optimiertes optisches Übertragungssystem OTS erforderliche Vorkompensationsbetrag D_{PC} abgeschätzt.

5

In Figur 6 werden analog die Graphen für die Übertragung der zweiten optischen Signale OS2 über eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF dargestellt. Der Zusammenhang zwischen dem Unterkompensationsbetrag D_{inline} und dem Vorkompensationsbetrag D_{PC} für eine Eingangsleistung P_{launch} von +1 dBm wird in einem ersten Graphen durch quadratförmige Meßpunkte dargestellt. Der Verlauf für eine Eingangsleistung P_{launch} von +4 dBm wird durch einen kreisförmige Meßpunkte aufweisenden zweiten Graphen dargestellt und der Verlauf für eine Eingangsleistung P_{launch} von +7 dBm wird durch eine dreieckförmige Meßpunkte aufweisenden dritten Graphen aufgezeigt. Durch Interpolation dieser Meßpunkte folgt eine mathematische Beziehung zur Ermittlung des optimalen Vorkompensationsbetrages D_{PC} ausgehend von dem vorliegenden Unterkompensationsbetrag D_{inline} und der Eingangsleistung P_{launch} der zweiten optischen Signale OS2 für die Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF. Diese lautet:

15

20

25

$$D_{PC} = (-12,5 + 1,2 \cdot P_{launch} / [\text{dBm}]) \cdot D_{inline} - 25 \text{ [ps/nm]}$$

30

35

Hierdurch wird der für das bestehende optische Übertragungssystem OTS erforderliche Vorkompensationsbetrag D_{PC} komfortabel abgeschätzt und durch Vorschalten einer diesen Betrag aufweisenden Vorkompensationseinheit PCU wird die Signalverzerrungen innerhalb der optischen Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser NZDSF bei Übertragung von zweiten optischen Signalen OS2 reduziert, wodurch die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite wesentlich erhöht wird.

Patentansprüche

1. Optisches Übertragungssystem (OTS) zur Übertragung von optischen Signalen (OS) bestehend aus N optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCU),
5 bei dem zur Übertragung von eine erste Datenübertragungsrate (DR1) aufweisenden ersten optischen Signalen (OS1) die Kompensationsbeträge der ersten bis N-ten Dispersionskompensationseinheiten (DCU₁ bis DCU_N) derart dimensioniert sind, daß
10 der erste bis N-te Faserstreckenabschnitt (FDS₁ bis FDS_N) jeweils um annähernd denselben Unterkompensationsbetrag (D_{inline}) unterkompensiert ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 daß zur Übertragung von eine zweite Datenübertragungsrate (DR2) aufweisenden zweiten optischen Signalen (OS2) dem ersten Faserstreckenabschnitt (FDS₁) eine Vorkompensationseinheit (PCU) zur Vorkompensation der zweiten optischen Signale (OS2) vorgeschaltet ist, die einen Vorkompensationsbetrag
20 (D_{PC}) im Bereich von 0 ps/nm bis -2000 ps/nm aufweist.
2. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die zweite Datenübertragungsrate (DR2) im Vergleich zur
25 ersten Datenübertragungsrate (DR1) mindestens doppelt so hoch ist.
3. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
30 daß der Vorkompensationsbetrag (D_{PC}) abhängig von der Höhe der eingekoppelten Leistung (P_{launch}) des eine zweite Datenübertragungsrate aufweisenden zweiten optischen Signal (OS2) und dem zur Übertragung verwendeten Fasertyp ist.

4. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

5 daß die optische Faser eine Standard-Einmodenfaser (SSMF) oder eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser (NZDSF) ist.

5. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 daß der Vorkompensationsbetrag (D_{PC}) für eine Standard-Einmodenfaser (SSMF) näherungsweise durch die folgende Beziehung bestimmt ist:

$$D_{PC} = (-11 + 1,665 \cdot P_{\text{launch}} / [\text{dBm}]) \cdot D_{\text{inline}} - 270 \text{ [ps/nm]}$$

15

mit

P_{launch} = eingekoppelte Leistung der die zweite Datenübertragungsrate aufweisenden optischen Signale pro Faserstreckenabschnitt und

20 D_{inline} = durchschnittlicher Unterkompensationsbetrag der ersten bis N-ten Dispersionskompensations-einheiten

6. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß der Vorkompensationsbetrag (D_{PC}) für eine Non-Zero-Dispersion-Shifted-Faser (NZDSF) näherungsweise durch die folgende Formel bestimmt ist:

30
$$D_{PC} = (-12,5 + 1,2 \cdot P_{\text{launch}} / [\text{dBm}]) \cdot D_{\text{inline}} - 25 \text{ [ps/nm]}$$

mit

P_{launch} = eingekoppelte Leistung der die zweite Datenübertragungsrate aufweisenden optischen Signale pro Faserstreckenabschnitt und

35

D_{inline} = durchschnittlicher Unterkompensationsbetrag
der ersten bis N-ten Dispersionskompensations-
einheiten.

5 7. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 4
bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Unterkompensationsbetrag (D_{inline}) bei der Übertragung
von optischen Signalen (OS) über eine Standard-Einmodenfaser
10 (SSMF) im Bereich von 10 bis 80 ps/nm und über eine Non-Zero-
Dispersion-Shifted-Faser (NZDSF) im Bereich von 5 bis 60
ps/nm liegt.

15 8. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1
bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß die optischen Faserstreckenabschnitte (FDS_1 bis FDS_N) des
optischen Übertragungssystems (OTS) eine Länge zwischen 40 km
und 120 km aufweisen.

20 9. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1
bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein eine optische Faser ($SSMF_1$) und eine Dispersionskom-
25 pensationseinheit (DCF_1) aufweisender Faserstreckenabschnitt
(FDS_1) ein optisches Übertragungsmodul bildet und ein opti-
sches Übertragungssystem (OTS) mehrere, in Serie angeordnete
optische Übertragungsmodule aufweist.

30 10. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1
bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß das optische Übertragungssystem (OTS) einen bidirektionalen
Betriebsmodus aufweist.

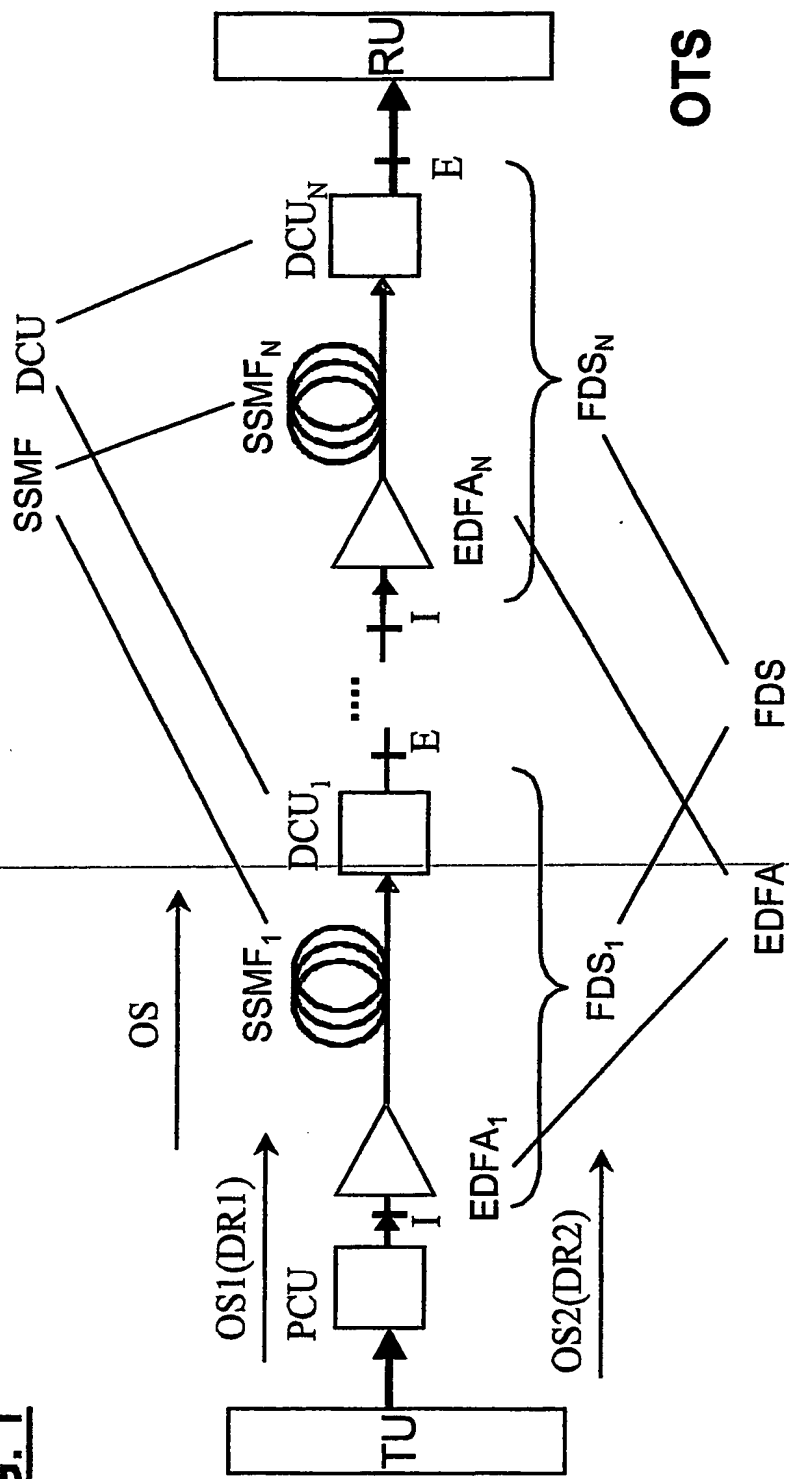
Zusammenfassung

Optisches Übertragungssystem zur Übertragung von optischen Signalen mit unterschiedlichen Übertragungsraten

5 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem (OTS) zur Übertragung von optischen Signalen (OS) bestehend aus N optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationsein-
10 heit (DCU). Zur Übertragung von eine erste Datenübertragungsrate (DR1) aufweisenden ersten optischen Signalen (OS1) sind die Kompensationsbeträge der ersten bis N-ten Dispersionskom-
pensationseinheiten (DCU₁ bis DCU_N) derart dimensioniert, daß der erste bis N-te Faserstreckenabschnitt (FDS₁ bis FDS_N) je-
15 weils um annähernd denselben Unterkompensationsbetrag (D_{inline}) unterkompensiert ist. Zur zusätzlichen Übertragung von eine zweite Datenübertragungsrate (DR2) aufweisenden zweiten opti-
schen Signalen (OS2) ist dem ersten Faserstreckenabschnitt (FDS₁) eine Vorkompensationseinheit (PCU) zur Vorkompensation
20 der zweiten optischen Signale (OS2) vorgeschaltet, die einen Vorkompensationsbetrag (D_{PC}) im Bereich von 0 ps/nm bis -2000 ps/nm aufweist. Hierdurch wird eine zusätzliche Übertragung von höherbitratigen optischen Signalen, beispielsweise 40 Gbit/s-Signalen, über ein für niederbitratige optische Signa-
le, beispielsweise 10 Gbit/s-Signalen, dispersionsoptimiertes optisches Übertragungssystem (OTS) möglich.

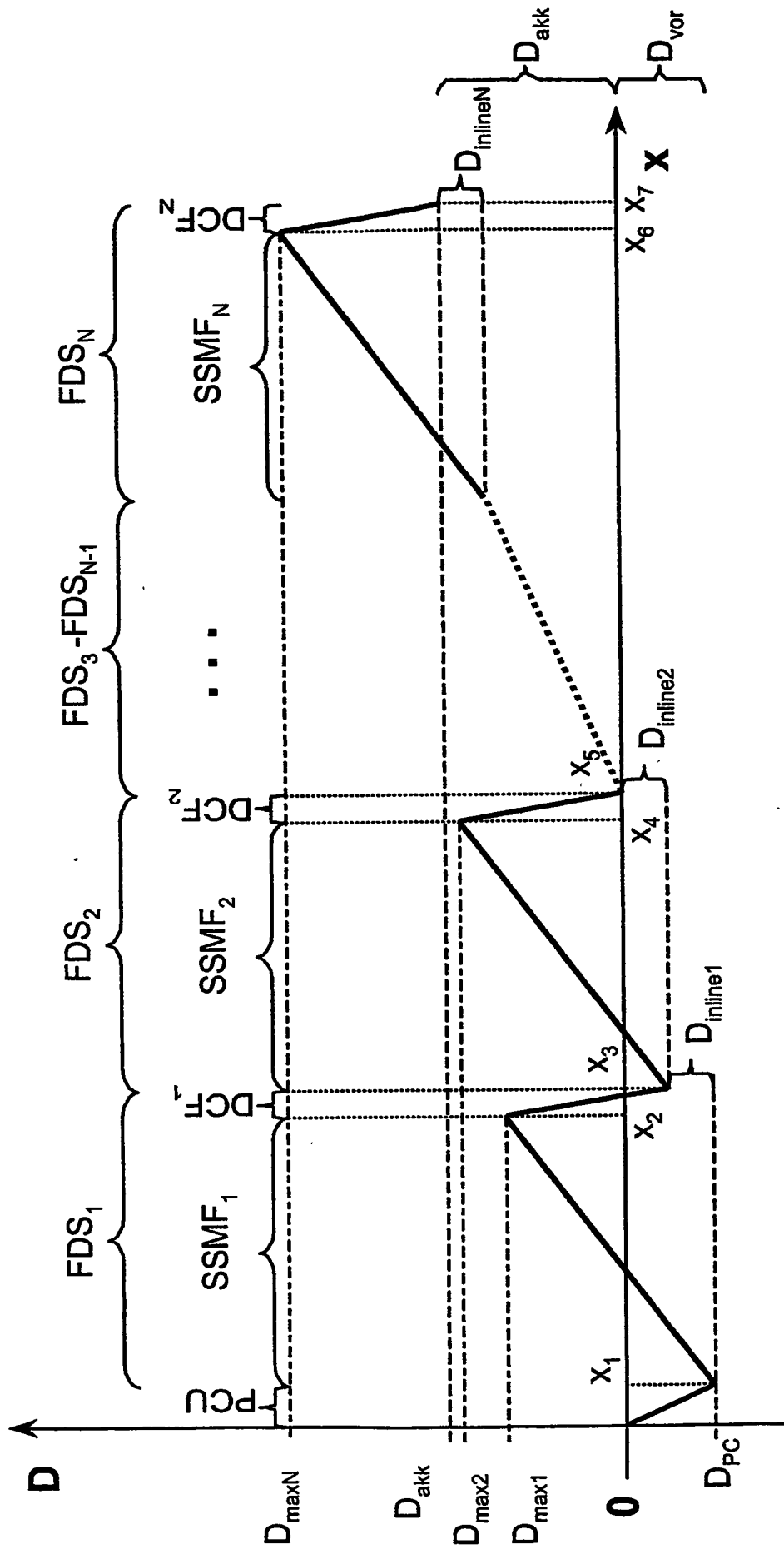
Figur 2

FIG. 1



OTS

FIG. 2



DCS

$$\langle D_{\text{inlinex}} \rangle = (D_{\text{akk}} + |D_{\text{PC}}|) / N$$

FIG. 3

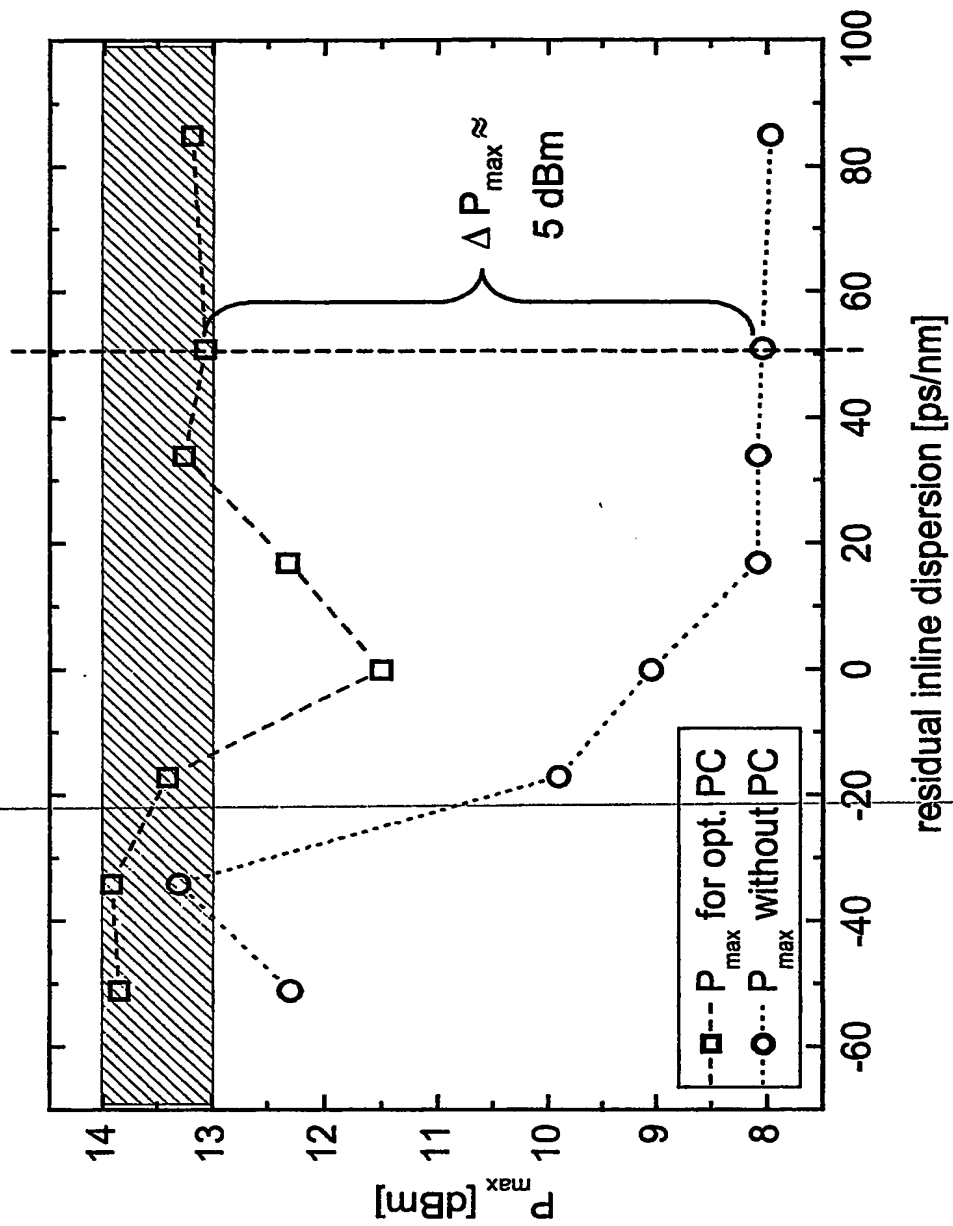


FIG. 5

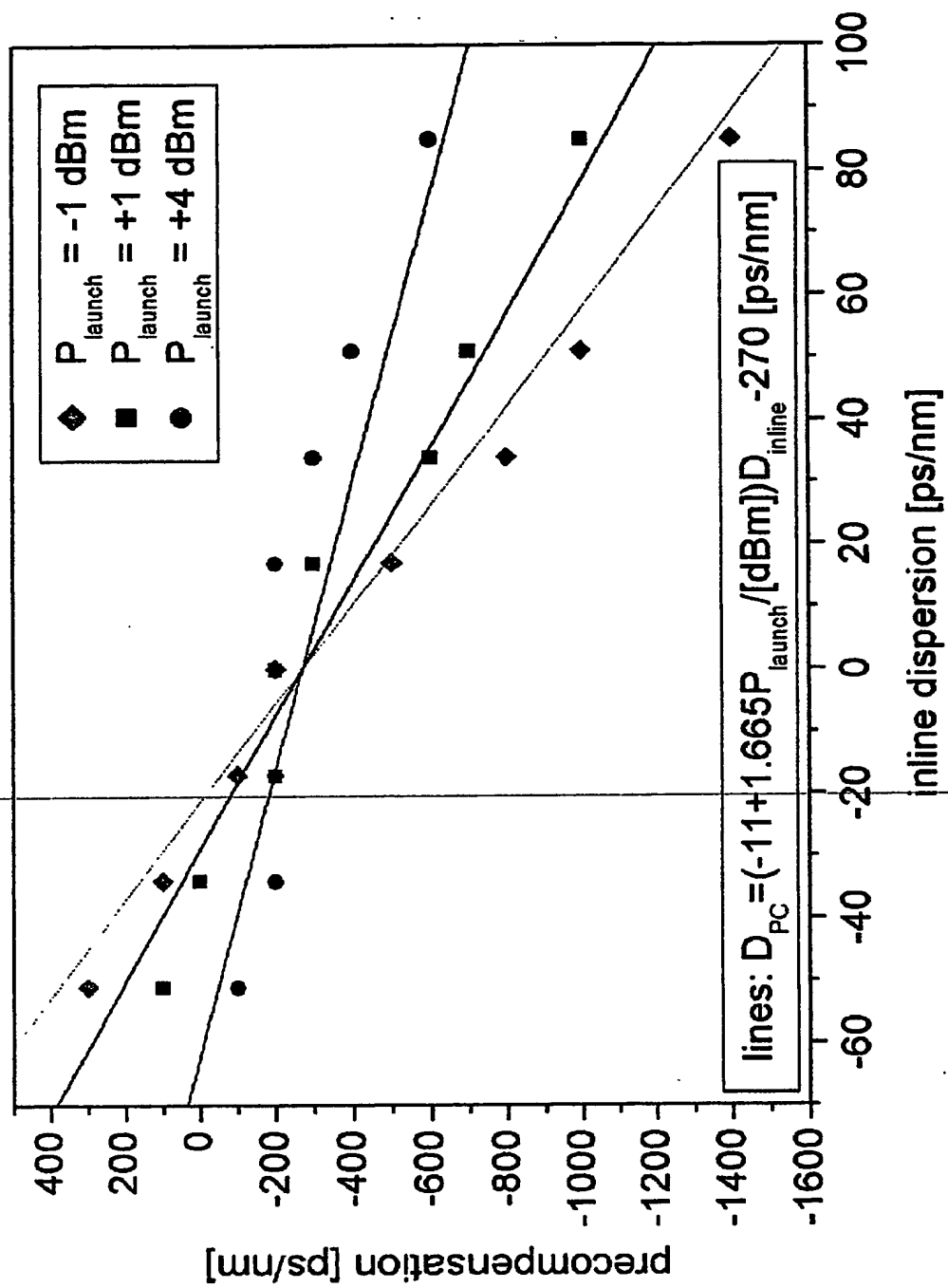
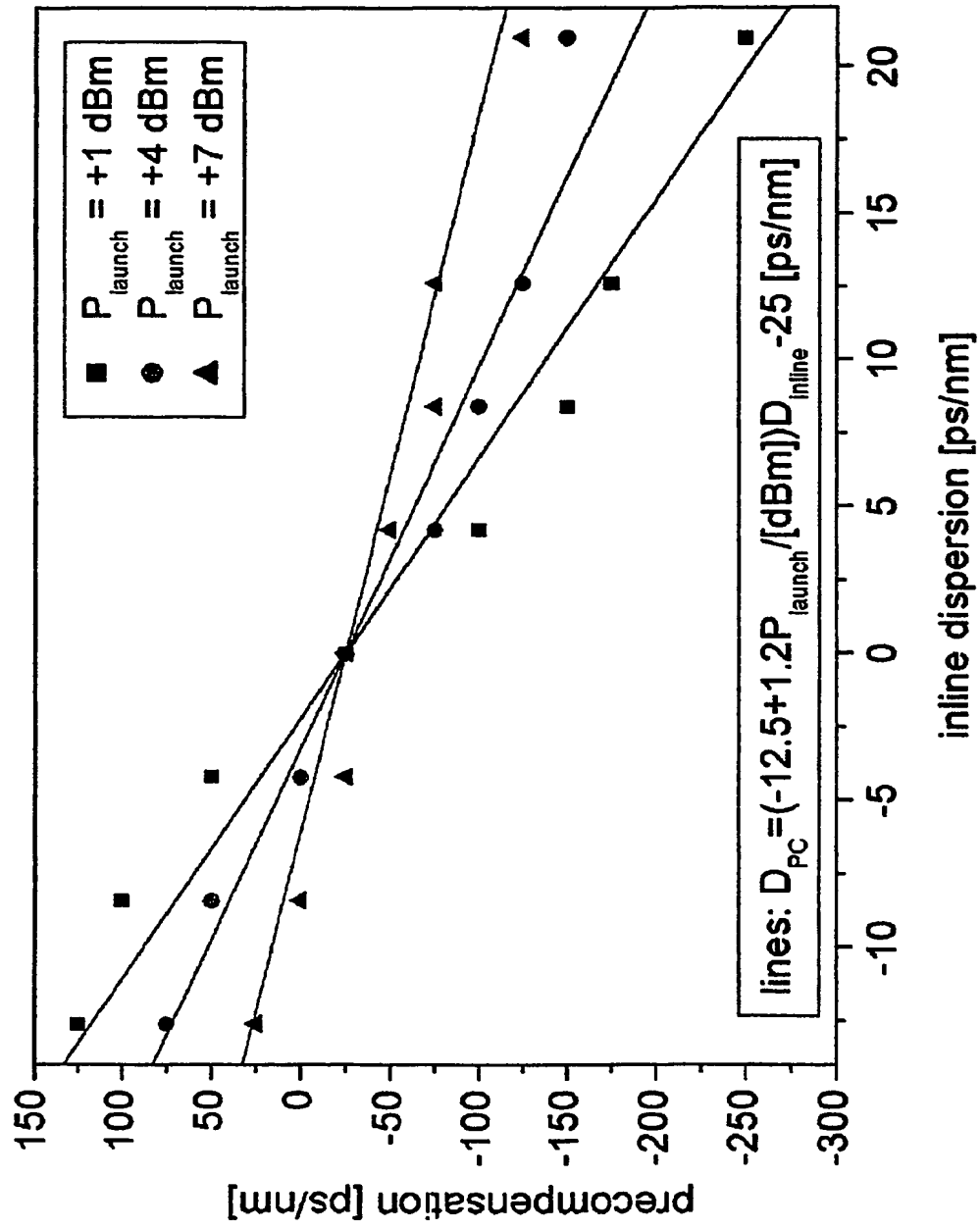


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.